

المنظمة العربية للتربية و الثقافة و العلوم
إدارة برامج العلوم و البحث العلمي

سلسلة الحقائب التعليميّة التدريبيّة في مجال الطّاقات المتجدّدة

حقيبة الخلايا الشمسيّة



تونس 2000

المنظمة العربية للتربية و الثقافة و العلوم

إدارة برامج العلوم و البحث العلمي

سلسلة الحقائب التعليميّة التدريبيّة

في مجال الطّاقات المتجدّدة

إشراف

الأستاذ الدكتور البهلول اليعقوبي

منسق المشروع

الدكتور أمين قلق

المحرّر العلمي العام

الأستاذ الدكتور محمد المعالج

التدقيق اللغوي

الدكتور عبد اللطيف عبيد

حقيبـة الخلايـا الشمسيّـة

إعداد

المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني / الجمهوريّة التونسيّة

تونــــــــس 2000

الفهرس

مقــدّمــــــــة

تعتبر الشمس منذ القدم مصدرًا أساسيّا للطّاقة على سطح الأرض، وقد تطوّر استعمالها عبر العصور بتطوّر العلــوم والتكنولوجيــا، فبعــد أن استخدمها الإنسان للتدفئة و التجفيف، استغلّها لتسخين الماء اعتمــادًا علـــى مبدأ "التحويل الإشعاعي- الحراري" باستعمال اللاقط الشمســـي، ثم لإنتــاج الطّاقة الكهربائيّة بالاعتماد على مبدأ "التحويـــل الإشـــعاعي- الإلكتـــروني" باستعمال الخلايا الشمسيّة الفولطاضوئـــيّـــة موضوع هذا الكتيب.

وبالإضافة إلى الميزة البيئيّة الأساســية، تمتـــاز هـــذه المولّـــدات الشمســـيّة الفولطاضوئـــيّـــة بسهولة تركيزها في أماكن استخدامها. لكن بالرغم مـــن هذه المميّزات لا تزال كلفتها باهضة مقارنة بالطاقة الكهربائيّة التقليديّة. لهـــذا ما فتئت الجهود العلميّة والتقنيّة الكبيرة تبذل في جميع أنحاء العالم، إذ تســـعى العديد من مخابر البحث المختصّة في هذا المجال إلى تحســـين مردوديـــة هـــذه المولّدات (الخليّة و الوحدات الفولطاضوئيّة) من حيث التحويل الطّاقي مـــن ناحية، وإلى الحدّ من كلفتها من ناحية أخرى.

وقد وقع تطوير الخلايا الشمسية في بادئ الأمر من أجل التطبيقات الفضائية، إذ كانت تزوّد الأقمار الصناعية بالطاقة الكهربائية بالاعتماد على التحويـــل الفولطاضوئي، ثمّ منذ أزمة البترول (1973) اتجهت أهم الـــدّول المصـــنّعة إلى تطبيق التحويل الفولطاضوئي للطّاقة الشمسيّة مـــن أجـــل الاســـتخدامات الأرضية، ورصدت لذلك اعتمادات للبحـــث التنمـــوي التجريبـــــــــــي "Research- development and Demonstration". وقد ســـايرت بعـــض الدول السّائرة في طريق النمو هذا التوجّه، ومنها الدول العربيـــة كتـــونس و المملكة العربية الســـــعوديـــــــة و الأردن و مصر...

و في إطار اهتمام الدول العربية بالطاقات المتجدّدة، أحدثت اللّجنة العربية الدّائمة للطاقات المتجدّدة سنة 1982 لتتولى المنظمة العربية للتربية و الثقافة والعلوم (إدارة برامج العلوم والبحث العلمي) أمانتها. وقامت هذه اللّجنة بنشر العديد من الدراسات حول واقع البحث العربي في مجال الطاقات المتجدّدة، ولعلّ آخر ما صدر عن المنظمة بتوصية من هذه اللّجنة أطلس الإشعاع الشمسي وأطلس الرياح للوطن العربي.

وفي إطار هذا الاهتمام بالطاقات المتجدّدة كلّفت المنظمة المعهد الوطني للبحث العلمي و التقني بتونس بإعداد حقيبة تدريبية عن استخدام الخلايا والأنظمة الفولطاضوئية نظرا إلى تجربة المعهد في هذا المجال.

و الكتيّب الذي نقدّمه يعدّ دليلاً لاستخدام هذه الحقيبة، وهو ينقسم إلى بابين:

- الباب الأول يتضمّن لمحة عن خصائص الإشعاع الشمسي، و يقدّم طرق تصنيع الخلايا و اللّوحات الشمسية و المواد المستعملة لهذا الغرض مع شروح للقوانين الفيزيائية المتعلّقة بهذه المواد،

- و الباب الثاني يتضمن الأشغال التطبيقية، و يعرّف بكيفية استعمال هذه الحقيبة و خاصّة لتشخيص الخلايا و اللّوحات الفولطاضوئية ثم لاستخدام هذه الأنظمة الفولطاضوئية للإنارة و ضخّ المياه.

1 الإشعاع الشمسي

1-1 مدخل في الإشعاع الشمسي

1-1-1 معلومات حول الشمس

الشمس كرة غازيّة يبلغ قطرها 1.391.000 كم(أنظر المرجع [1])، و تفصلها عن الأرض مسافة يبلغ معدّلها 149.598.000 كم. و نظـــرًا إلى أن المدار الأرضي شبه دائري، فإنّ انحرافه المركزي لا يتعدّى 0,01675 لـــــــذا فإنّه لا يلاحظ سوى تغيّر بسيط في المسافة بين الأرض والشـــمس بنســـبة لا تفوق 1,65 % من معدّل المســـافة، وتكون هذه المسافة في حدّها الأدنى في أوائل شهر يناير/ كانون الثّاني وفي حدّها الأقصى في أوائل شهر يوليو/ تمّوز. وينتج عن اقتراب الكرة الأرضيّة وابتعادها عن الشمس تغير في القطر الزّاوي من 31',25 إلـــى 32',30 ممّا يؤدّي إلى تغيير يسير في شدّة الإضاءة المرســـلة من الشمس يقدّر بـــ 3,3 % أي ضعف النسبة المسجّلة على المسافة. وتبلـــغ هذه النسبة أقصاها في الشتاء، كما تتغيّر شدّة الإضاءة بين فترات "الشـــمس الهادئة" وفترات ظهور"الكلف الشمسيّة الكبرى" بنسبة لا تتجاوز 4 %.

ويمكن تقدير هذه الإضاءة بسهولة إذا عرفنا درجة حـــرارة ســـطح الطبقة المضيئة للشمس. وبشكل عام يمكن اعتبار الشمس جسما أسود مشعًا درجة حرارته 800K5. والإشعاع الشمسي (أنظر المرجع [1]) مكوّن مـــن موجات كهرومغناطسيّة ذات طول معيّن. و النظرية الكميّة للفيزيـــاء تعتـــبر الموجات الكهرومغناطسية كجسيمات، و يسمّى الجسيم في حالة الموجـــات الضوئية فوتون.

2-1-1 – الطيف الشمسي خارج الغلاف الجوّي

عندما يرسل جزء من سطح مضيء ds تدفّقا ضوئيا dΦ في وحدة الزّمن فإنّ النسبة M تسمّى الانبعاث الطّاقي:

$$M = \frac{df}{dS} \text{ (watt/m}^2\text{)}$$

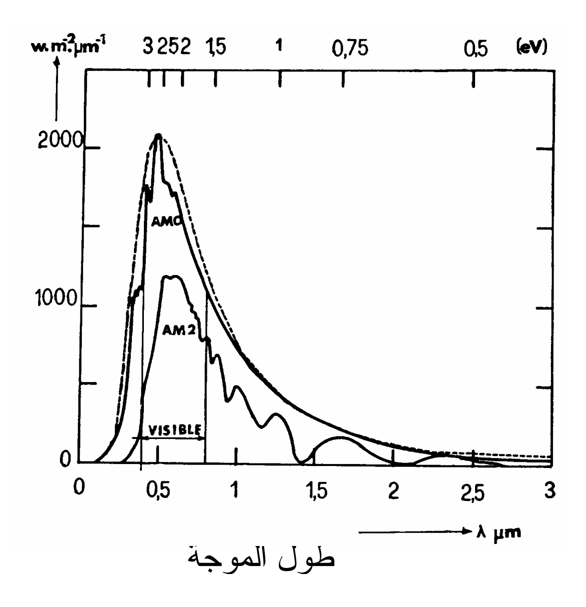
ويمكن تطبيق القانون الفيزيائي (إســتيفان بولتزمــان: Stefan Boltzman) لتحديد قيمة الانبعاث M من جسم أسود في درجة حرارة معيّنة (T):

$$M = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.669\ 10^{-8}\ W\ m^{-2}\ K^{-4}$$

يقدّر تدفّق الطّاقة الذي تتلقّاه الكرة الأرضيّة من الشّمس ب: 177 مليارًا من الكيلووات، أمّا الإضاءة أي كثافة التدفّق الطّاقي الوارد على مستوى جبــهي فإنّها تقدّر ب 1,4 كيلووات في المتر المربّع، ويسمّى هذا العامل بـــ: "الثابت الشمسي".

واعتمادا على قانون بلانك (Plank) نستطيع الحصول على التوزيع الطيفي للإشعاع الكهرومغناطيسي الصّادر عن الشمس باعتبارها دائما جسما أسود.



الشكل 1. الطيف الشمسي على مستوى الأرض. الخط المتقطع يمثل الطيف النظري للجسم الأسود.

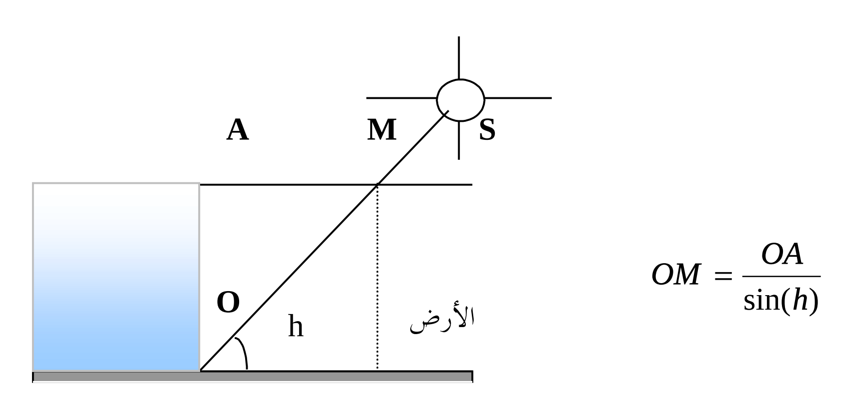
ونطلق اسم انبعاث طاقي أو "إشعاعيّة طيفيّة" M_λ على الانبعاث الطّــاقي

للإشعاع الصادر من الشمس والذي يمثل الانبعاث الطّاقي حسب طول الموجة λ. و الشّكل رقم 1 يمثّل الطيف الشّمسي على مستوى الأرض والطيف النّظري للجسم الأسود (أنظر المرجع [1]).

2-1 الإشعاع الشمسي على سطح الأرض

- عدد هواء كتلة

إنّ للتغييرات التي يحدثها الإشعاع المباشر علاقة بسمك طبقة الهواء التي يقطعها الإشعاع (أنظر المرجع [1])، وهذا تبعا لعلوّ الشمس. ويؤخذ كوحدة قياس السماكة الشّاقوليّة للجوّ المتوسط (وهذه السماكة تنحصر في 7,8 كم). ونفترض أنّ هذه الطبقة مسطّحة ومنضّدة أفقيّا، و أنّ شعاع الضوء يتّبع مسارًا مستقيما طوله OM حسب الشّكل 2.



$$OM = \frac{OA}{\sin(h)}$$

الشكل 2. اختراق أشعة الشمس للغلاف الجوي.

فإذا كان الضّغط P يختلف عن 1013 ملّيبار والعلُوّ يبلغ (z كم) نطلق اسم كتلة جوّية أو "عدد هواء كتلة جوّية " على العدد الحاصل (m) حينما تكون

OA=1 في المعادلة التّالي (أنظر المرجع [1]):

$$m = \frac{P}{1013}\ \frac{1}{\sin(h)}\ \exp(-\frac{z}{7.8})$$

فمثلاً في مستوى البحر أي (z=0) و في "السمت" أي حينما تكون الشّمس في وسط السماء (h=90°) نلاحظ أنّ m=1 ونقول في هذه الحالة إنّنا في ظروف AM1. أمّا إذا كانت الشّمس مائلة في الشّروق بحيث(h=30°) فإنّ m=2 ونقول إنّنا في ظروف AM2. ومن الملاحظ أنّ هنالك تصحيحا يجب القيام به إذا اعتبرنا تقوّس الأرض وانحناء أشعّة الضوء (أنظر المرجع [1]).

- أنواع الإشعاع

يتكوّن الإشعاع الذي يصل إلى سطح الأرض (أنظر المرجع [1]) من إشعاع شمسي مباشر (S) ومنتشر (D) بحيث يكون مجموعهما الإشعاع الجملي (G). أمّا الإشعاع المنتشر فإنّه يأتي من القبّة الزرقاء وليس له اتجاه مفضّل.

وبالطّبع فإنّ الإشعاع المنتشر يحتوي على اللون الأزرق أكثر من الإشعاع الجملي. وتتوقّف الأهمّية النسبيّة لـ (S) و (D) في الإشعاع الجملي (G) على ما نريد تحقيقه.

وبالنسبة إلى الخلايا الشمسيّة التي تعتبر أساسا مستقبلات انتقائية فإنّ استجابتها المتعلّقة بطول الموجة الضوئيّة الواردة تشكّل خاصيّة هامّة. ولهذه الاعتبارات، فإنّ الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض متغيّر تبعا للزّمن، أي حسب السّاعة والفصل.

يخضع التدفق الشمسي الواصل إلى سطحٍ ما من الأرض باتجاه وميل معيّنين إلى توزيع طيفي يرتبط بِـ:

- خطّ عرض هذا السطح،

- ارتفاعه فوق المستوى الأفقي،
- الفترة الزّمنيّة من السّنة،
- اللحظة المعتبرة في اليوم،
- طبيعة الطبقات الجوّية.

3-1 – آلات قيس الإشعاع الشمسي (أنظر المرجع [10])

نجد في الغالب المعطيات الخاصّة بالإشعاع الشّمسي لدى مصالح الأرصاد الجويّة التي تهتم بهذا الميدان، وهي تقوم بتعديل آلات القيس التي تستعملها بصفة مستمرة. لذا فآلات قيس الإشعاع الشّمسي التي يجب استعمالها هي نفسها التي تستعملها مصالح الأرصاد الجويّة، فنجد مثلا :

- آلة تقيس مدّة سطوع التشمّس وتسمّى المشماس (heliograph). و هذه الآلة تتأثّر بالإشعاع المباشر للشّمس، و تشتغل ما دام هنالك إمكانيّة لرؤية القرص الشّمسي حتى من وراء السّحب. و من أنواع هذه الآلات نجد آلة Compell-Stokes المشهورة.

- آلة تقيس الإشعاع الجملي لضوء الشّمس، و هي تسمّى مقياس الإشعاع السماوي (pyranometer)، و تتلقى هذه الطّاقة الشّمسيّة من كامل نصف الكرة الزرقاء أي من الأفق في جميع الاتجاهات. و في الغالب توضع هذه الآلة على سطح أفقي، و يكون طيف الموجات الضوئيّة المقاسة منحصرا بين 0,3µm و 3µm الموجات المرئيّة و غير المرئيّة (فوق البنفسجيّة أو تحت الحمراء). هذه الآلة ترتكز في الأساس على المجسّات المسمّاة بالأعمدة الكهروحرارية (thermopile)، وهي مجسّات تتأثّر بالحرارة التي تحدثها الموجات الكهرومغنطسيّة.

- آلة تقيس الإشعاع المنتشر لضوء الشّمس. و لهذه الآلة نفس خاصّية الآلة السّابقة، إلاّ أنّها مجهّزة بغطاء واق يمنع الإشعاع المباشر المتأتي من قرص

الشمس من الوصول إلى المحسّ.

- آلة قيس الإشعاع المباشر لضّوء الشّمس، و لهذه الآلة نفس الخاصّية للآلتين السّابقتين، إلا أنّها تختلف عنهما بكونها مغلقة في صندوق صغير ذي فتحة صغيرة يجب، عند القياس، وضعها في اتجاه أشعة الشّمس. (و يطلق عليها بالفرنسيّة "Pyrheliomètre"). وهذه الآلة تتأثر بالطّاقة الشّمسيّة المنبعثة من القرص الشّمسي فقط والوارد على المحسّ بعد تركيزه.

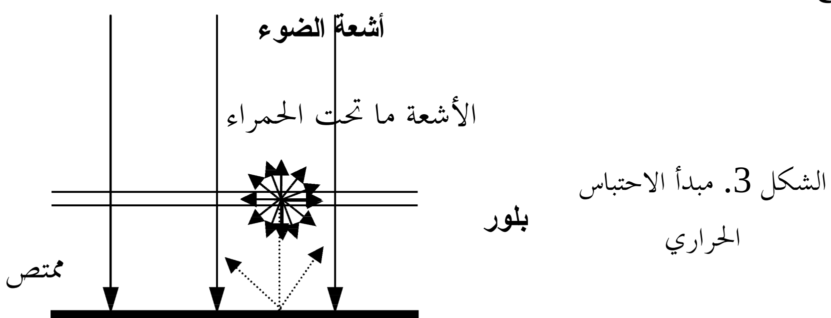
و نظرا إلى تطوّر استخدامات الطّاقة الشّمسيّة أصبحت هذه الآلات تستعمل لدى المختصين في هذا الميدان و خارج مصالح الأرصاد الجوية، إلاّ أنّ تعديلها يستوجب الاتصال دوما بتلكم المصالح على الأقلّ مرّة كلّ سنتين.

و تجدر الإشارة إلى استخدام محسّات من نوع جديد لقياس هذه الإشعاعية، تعتمد على التحولات الفولطاضوئية.

2 تحويل الإشعاع الشمسي

1-2 - التحويل الحراري

العامل الأساسي في تحويل الأشعّة الشمسيّة إلى طاقة حراريّة، وهو مستعمل بكثافة هذه الأيّام، هو الاحتباس الحراري : (effet de serre) (أنظر المرجع [2]).



الشكل 3. مبدأ الاحتباس الحراري

و في الشّكل عدد 3 نجد قطعتين من البلّور: في الأسفل الأولى تمّ طلاؤها باللون الأسود الذي له قدرة على امتصاص الضوء، و فوقها قطعة ثانية غير

مطليّة. فعند وضعهما أمام تدفّق ضوئي كما هو مبيّن في الشّـــكل عـــدد 3 نلاحظ ارتفاع درجة حرارة القطعة السوداء ثم ارتفاع درجة حـــرارة الهـــواء المنحصر بين قطعتي البلور، وذلك ناتج عن إشعاع القطعة السّوداء لأشعة ذات الموجات تحت الحمراء، و أنّ الممتص الأسود له نفس خاصّـــيات " الجســـم الأسود" (أنظر المرجع [2]).

ويعتبر النموذج الأخير بسيطا، وقد تمّ تطويره لتحسين المردودية.

2-2- تطبيقات الحرارة الشمسيّة(أنظر المرجع [10])

- التطبيقات في السّكن والميدان العمومي

من بين التطبيقات يمكن أن نذكر :

تسخين المياه،

تسخين مياه المسا بح،

تسخين المنشآت،

التخزين الحراري،

المنازل الشّمسيّة،

استغلال غير مباشر للطّاقة الشّمسيّة باستعمال مضخات الحرارة،

ربط مضخات الحرارة باللواقط الشّمسيّة،

التكييف والتبريد.

- التطبيقات الزراعيـــة

في هذا الميدان يمكن أن نذكر:

الدّفايا (أو الزراعة المحمية)،

المجفّفات الشمسية.

- **التطبيقات في الأماكن النائية**

الطبخ الشمسي،

تحلية المياه.

3-2 - التحويل الكهربائي

توجد تقنيتان أساسيّتان لتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية:

- التحويل المباشر للطاقة الإشعاعّية من الشمس إلى جهد كهربائي، وهو تحويل مرغوب جدّا وله مستقبل واعد، ويستعمل المواد شبه الموصلة،
- التحويل غير المباشر وذلك بالمرور بالتحويل الحراري إلى طاقة ميكانيكية ثمّ إلى طاقة كهربائية بالاعتماد على مبدأ "كارنو".

وتتميّز منظومات التحويل المباشر للإشعاع الشمسي إلى كهرباء بسهولة الاستخدام وعدم تطلّب درجة حرارة مرتفعة. ويعتمد هذا التحويل على استعمال الخلايا الشمسية التي هي موضوع هذا الكتيّب. وقد استخدمت لأول مرّة في تزويد الأقمار الصناعية بالكهرباء. ثم مع تطوّر التقنيات أصبحت هذه الخلايا تستخدم لتزويد الأماكن النائية بالطاقة الكهربائيّة.

3- الطاقة الشمسية الفولطاضوئية

3-1 - أهمية الطاقة الشمسية الفولطاضوئية

إن الاستهلاك المفرط و غير المحدود للمواد البترولية أصبح يهدد بنفاد المخزون الجوفي لهذه المواد، إضافة إلى تلوث البيئة الذي أصبح حقيقة أقرّها العالم. ومن الآثار السلبيّة على البيئة (أنظر المرجع [5])

- ارتفاع نسبة الأوزون في بعض مناطق العالم مثل أوربا،
- تآكل طبقة الأوزون الحامية للأرض،
- تزايد غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 في الجو وما ينتج عنه من ارتفاع

درجة الحرارة على الأرض.

كل هذه الانعكاسات السلبية لاستعمال الطاقة البترولية دفعت الإنسان إلى البحث عن مصادر جديدة للطاقة أقل تلوثا.

وفي محاولة أولى اتجهت الأنظار إلى الطاقة الذرية التي وقع اكتشافها اعتمادا على نظرية ألبرت إنشتاين (Albert Einstein). إلا أن هذا الاتجاه لم يدم طويلا نظرا إلى الانعكاسات التي خلفتها هذه الطّاقة على البيئة وعلى الحياة الإنسانية بصفة عامة مثل المشاكل المنجرّة عن عدم جدوى الوحدات الذرية المنتجة للطاقة الكهربائية و الحوادث التي كادت أن تؤدّي إلى كوارث مثل حادث شرنوبيل.

وخلاصة القول إن محدودية المخزون الجوفي من المواد البترولية، والتلوث الناتج عن استعمال هذه المواد، و المخاطر المنجرّة عن استعمال الطاقة الذرية وغزو الفضاء دفعت الإنسان إلى البحث عن أشكال أخرى من الطاقة سميّت جديدة و متجددة. ولعلّ الطاقة الفولطاضوئية أهمّ تلك الطاّقات على الإطلاق.

3-2- مبدأ التحويل الفولطاضوئي

3-2-1 - التعريف بالخلية الشمسية و مبدأ اشتغالها

- آليات أولية

يمكن أن نتصور ببساطة المحول المثالي فوتون-إلكترون (أنظر المرجع [1]) :

1) يجب أن يقع امتصاص الفوتونات من قبل مكوّنات الجهاز. وبطريقة الامتصاص اللابصرية هذه تنتقل طاقة الفوتون إلى المكوّنات.

2) يجب تحويل هذه الطاقة إلى طاقة كهربائية، لا إلى طاقة حرارية فقط. فمن المحتم إذًا أن تنتقل طاقة الفوتون إلى إلكترون بشكل طاقة كامنة، وهذا ما يسمى بالتحويل الكمّي (لأن المستويات الإلكترونية للطاقة في الأجسام الصلبة

هي بشكل عام مكمّمة).

3) و أخيرا فمن الضروري أن لا تسقط الإلكترونات المهيجة بتفاعلها مع الفوتونات إلى مستواها الأصلي، وذلك مهما كانت طريقة الاسترخاء، ولكن يجب أن تجمع في اتجاه مساري خروج الخلية الشمسية قبل وقوع هذا الاتحاد. لذلك يجب أن تكون بنية هذا التجميع بنية ناجعة.

- **المكونات الفولطاضوئية**

تتركب الخلية الشمسية من مكونات ماصة و من بنية للتجميع. ويجب أن يكون للمكونات الماصة مستويان للطاقة، وأن تكون ناقلة بما يسمح للتيار بالمرور. وأبسط البنيات للتجميع هي بالطبع المجال الكهربائي، ويقترن دائما بحائل كمون (أنظر المرجع [1]):

ويرتبط هذا الأخير مباشرة بالفارق بين مستويات فارمي"Fermi" بين منطقتين. وهكذا يمكن اختيار المكونات الفولطاضوئية، إذ لا يمكن استعمال العوازل لأنها لا تسمح بنقل التيار الكهربائي كما ل يمكنا استعمال المعادن. وتبيّن التجربة الشائعة التي تستخدم المزدوجات الحرارية أنّها لا تعطي إلا بعض المكروفولط(µV) بالدرجة الواحدة. وبهذا سيقع اختيار المكونات الفولطاضوئية ضمن شبه النواقل، وستكون بنية التجميع وصلة (P-N) أو وصلة غير متجانسة أو حائل شوتكي"Schottky".

محول ذو مستويين للطاقة

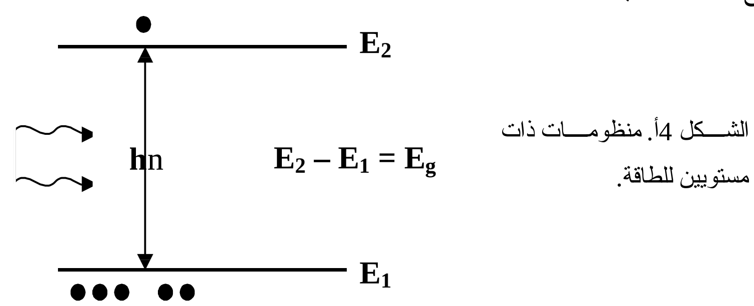
يتركب أبسط مثال لمكونات شبه ناقل من منظومة ذات مستويين 1 و 2 طاقتهما E_1 و E_2. ولبناء نموذج مثالي لخلية شمسية يجب اعتبار الافتراضات الآتية :

- لا يمكن أن توجد طاقة الإلكترونات بين E_1 و E_2، و إنما تساوي E_1 أو

E_2.

- لا يمكن امتصاص فوتون وارد طاقته أدنى من $E_g = E_2 - E_1$. ويعدّ الوسط في هذه الحالة وسطا شفافا بشكل كلي بالنسبة إلى هذا الفوتون.

- إن الامتصاص الكلي لفوتون يحدث في الحالة التي يملك فيها هذا الفوتـــون طاقة تساوي أو تفوق الطاقة E_g. وينتقل الإلكترون الذي يمتص هذه الطاقـــة من المستوى 1 إلى المستوى 2 تاركا وراءه فجوة في المستوى 1. وهذه الفجوة تسمى عادة " ثقبا " .

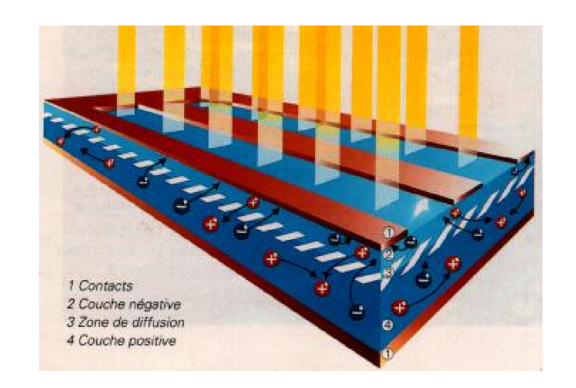


الشـــكل 4أ. منظومـــات ذات مستويين للطاقة.

- تعتبر آليات استرخاء الإلكترون إلى المستوى 1 (وتسمى اتحاد إلكتـــرون – ثقب) بطيئة بحيث يقع جمع الإلكترون المهيّج حتى يساهم في نقل التيار القابل للاستعمال.

- يساوي جهد الخروج لهذه الخلية الشمسية المثالية (E_g/q) حيث (q: شحنة الإلكترون).

3-2-2- التحويل الفولطاضوئي

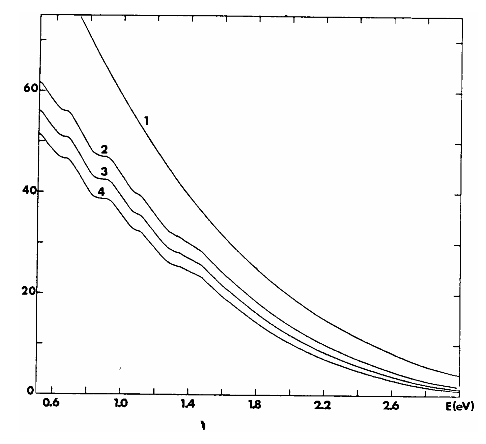


الشكل 4ب. مبدأ التحويل الفولطاضوئي.

- حساب التيار

بما أن تدفق الفوتونات معروف، فإنّه يمكننا الحصول مباشرة على عدد الإلكترونات المتوافقة معه. و في الواقع إن المردود الكمي للنموذج المثالي المستعمل يساوي 1 : ينتج كل إلكترون عن امتصاص فوتون واحد. ويكفي للحصول على التيار أن نعرف كمية صغيرة من طاقة الفوتونات وضربها بشحنة الإلكترون.

وبجمع هذه الكميات الطاقية حتى الحد الأقصى ($E_g = E_2 - E_1$) نتحصل على التيار الكمي الناتج عن جميع الفوتونات الممتصة. وبهذا يمكن رسم التيار النظري متابعة لE_g. ويمثل الشكل 5 المنحنيات النظرية لهذا التيار.



الشكل 5. تيار كهربائي مثالي تبعا لعرض الشريط المحجر.

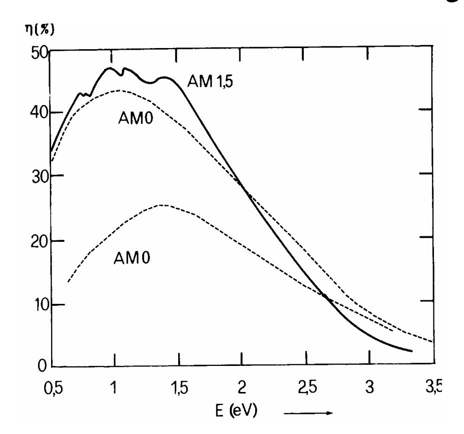
- مردود التحويل للخلية الشمسية الأولية المثالية

يعطى مردود التحويل للخلية الشمسية الأولية المثالية بالعلاقة :

$$h = \frac{IE_g}{qM}$$

ويمثل I التيار (الشكل 5) و M الاستطاعة (القدرة) الواردة من الشـــمس. ويمثل الشكل 6 المردود المحسوب لنموذج أكثر واقعية من النمـــوذج المثـــالي والذي يأخذ بعين الاعتبار عوامل ضياع أخرى تتكون من:

- امتصاص غير كامل للفوتونات،
- الطّاقة الفائضة،
- انعكاس على السطح،
- مردود التجميع،
- معامل التوتر،
- معامل المنحني أو معامل الشكل FF.



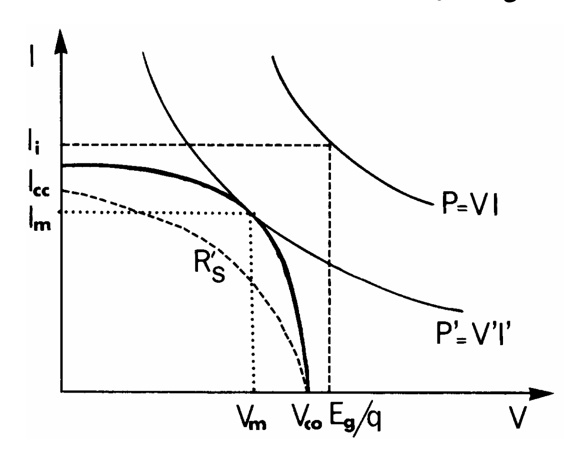
الشكل 6. المردود النظري لخلية شمسية أولية مثالية.

وحتى يتمّ شرح معاملات الضياع الثلاثة الأخيرة يجب الرجوع إلى الشـــكل 7. ولقد افترضنا من أجل احتساب المردود المثالي بأن المميز " تيار-جهـــد " ($I_i=E_g/q$) مستطيل الشكل ويقابل قدرة قصوى مقدارها: $P = VI = I_iE_g/q$. ويتغير المميز عن المميز الحقيقي. وقبل كل شيء فإن التيـــار الأقصـــى [I_{cc}]

ويسمى الدارة المقصورة لأنه يأتي من[V=0] أصغر من [I_i] لسبب مردود التجميع. ثم إنّ الجهد أصغر دائما من [E_g/q] . و ينتج الجهد الأقصى الملاحظ [V_{co}] عن دارة مفتوحة أي إنّ الخلية الشمسية لا تقدم تيارا.

و يعرف معامل الجهد بـ [V_{co} /(E_g/q)]. وختاما فإن المميز (تيار- جهد) ليس بمستطيل الشكل. إذا فنقطة الاشتغال الموافقة للقدرة القصوى ليست [V_{co} I_{cc}] و إنما [$P = V_mI_m$] وهي أصغر بكثير من P. و تسمى النسبة $FF = \dfrac{V_mI_m}{V_{oc}I_{cc}}$ معامل المنحني ومعامل الشّكل أيضا.

أما مقاومة التوالي R_s فإنها تضيف هبوطا للجهد R_sI عندما تعطي الخلية الشمسية تيارا، فيتغير حينئذ المميز كما يبينه الشكل 7. ويكون التيار المحسوب محدودا و يصغر معامل المنحني مما يقلل المردود.



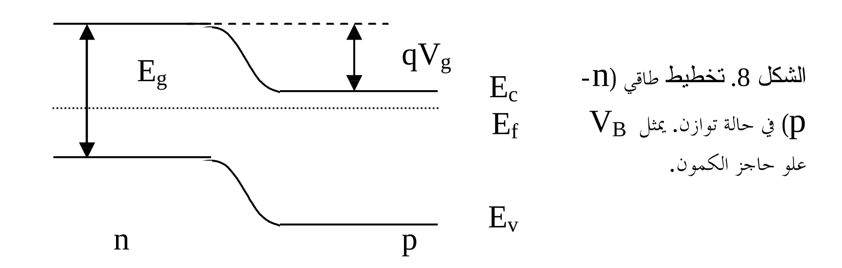
الشكل 7. مميز تيار جهد لخلية شمسية. بخط متقطع: مميز مستطيل لخلية شمسية مثالية. بخط مستمر: مميز حقيقي. يبين المنحني R_s تأثير مقاومة التوالي.

- تراكيب الخلايا الشمسية

يكمن هدف تركيب الخلايا الشمسية في إيجاد مجال كهربائي داخلي وظيفته التفريق بين الإلكترون والثقب المنبعثين بمفعول الإضاءة. و يمكن، لهذا الغرض، استعمال جهد كهربائي خارجي، لكن المولد الذي نحصل عليه لا يكون مستقلا. غير أنه يمكن الحصول على مجال كهربائي داخلي بإيجاد حائل

في المكون، ويكفي لذلك تغيير موقع مستوى فارمي Fermi بالنسبة إلى لحافات الشريط. ويمكن إنجاز ذلك بالصيغة التالية:

- تغيير في التطعيم،
- تغيير في تكوين المكوّن، ويؤدّي ذلك إلى تراكيب ذات شريط محجر متغير،
- تغيير الاثنين معا مما يؤدي إلى وصلات غير متجانسة.



الشكل 8. تخطيط طاقي (n-p) في حالة توازن. يمثل V_B علو حاجز الكمون.

- **أنواع الخلايا الشمسية**

من بين أنواع الخلايا الشمسيّة نذكر:

- الخلايا الشمسيّة المتكونة من السيلكون: أحادي البلّورات (Monocrystalline) أو متعدد البلورات (Polycrystalline)،
- الخلايا الشمسيّة المتكونة من شرائط السيلكون: أحادية البلّورات،
- الخلايا الشمسيّة المتكونة من شرائط السيلكون غير المتبلور،
- الخلايا الشمسيّة المتكونة من GaAs،
- الخلايا الشمسيّة ذات وصلة غير متجانسة (Héterojunction)، من بين هذه الخلايا :"CdTe/ZnSe....".

- **صناعة الخلايا واللوحات الشمسيّة الفولطاضوئيّة**

أ) خلايا من مادة السّيليكون

يعطينا الشكل عدد 9 أهم مراحل صناعة الخلايا من مادة السّيلكون أحاديّ البلورات المطعّم بالـــ "Bore" أي من نوع (P) المعد في الغالـــب في شكل أقراص ذات قطر 10 سنتمتر وسمك 0.5 مليمتر .

و تتمثّل هذه المراحل في:

1) عمليّة تطهير سطح أقراص السيلكون بمعالجة كيميائيّة قلويّة قويّة التركيز (أنظر المراجع [2،3،6]).

2) عمليّة تحريش (Texturisation) السطح بمعالجة كيميائيّة قلويّة ضـــعيفة التركيز ممزوجة بالكحول، فنلاحظ عند مشاهدة السطح في المجهر أنّـــه عبارة عن أهرامات متلاصقة (أنظر المرجع [2،3])، الغاية منها تحســـين مردود الخلايا بتقليل الانعكاس والإكثار من امتصاص للفوتونات وهو ما يزيد في توليد المزيد من التيّار الكهربائي.

3) عمليّة انتشار الفوسفور في الفرن(أنظر المراجع [2،3]):

قبل الانتشار يقع حماية أقراص السّيلكون من الخلف وعلى الحواشي بترسيب طبقة سميكة من مادة الـــ "SiO_2" بطريقة تفاعليّة كيميائيّة . (Chemical Vapor Deposation). وتتمثل عمليّة انتشار الفوسفور في إدخال أقراص السّيلكون في فرن من البلّور عالي النقـــاوة وتحـــت حرارة تبلغ 950 درجة مئويّة تقريبا، ثم إرسال تيّار غازي متكون من $POCl_3$ و الآزوت و الأوكسيجين، وتدوم هذه العمليّة مـــن 15 إلى

20 دقيقة، و بذلك نتحصّل على طبقة رقيقة من السّيليكون من نوع N على السطح الأمامي للقرص السّليكوني وهو ما يكــوّن النـــواة للخليّة الفولطاضوئيّة.

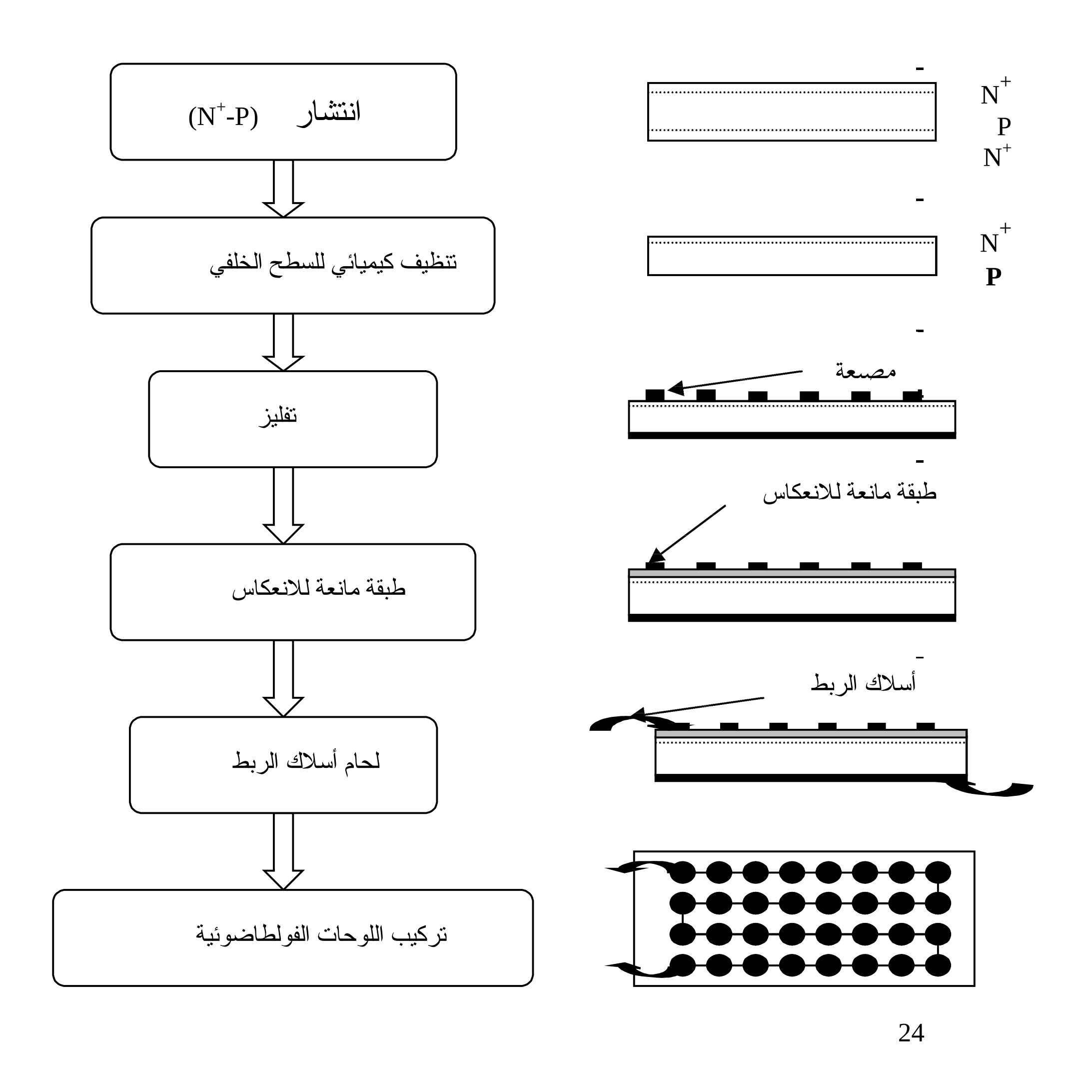
4) عمليّة تنظيف كيميائي للسطح الخلفي للخلايا لإزالة الرّواســب مـــن الأكسدة (SiO_2....).

5) عمليّة التفليز أي طباعة طبقة من المعادن على الســطح الأمامــــــي و الخلفي بطريقة (Sérigraphie) للخليّـــة الفولطاضـــوئيّة ثم تجفيفهـــا و إنضاجها في فرن الأشعة تحت الحمراء. والغاية من هذه الطبقات المعدنيّة تسهيل عمليّة ربط الخلايـــا الشمســـيّة باللحـــام لتكـــوين اللوحـــات الفولطاضوئيّة .

6) ترسيب على السطح الأمامي لطبقة رقيقة مانعة للانعكاس من مـــــادّة الـــ "SiO_2" بطريقة تفاعليّة كيميائيّة أيضا. و قد وقع تعـــويض هـــذه الطبقة بطبقة من السّيليكون المساميّ (أنظر المراجع [3،6،7،8]).

7) عمليّة لحام أسلاك الرّبط بين الخلايا لتكوين اللوحات الفولطاضوئيّة.

ولصناعة الخلايا من السيليكون متعدّد البلّورات فإننا نتبع نفس المراحل تقريبا، والملاحظ أنّ هذا النوع من الخلايا لا يعطينا مردودًا قويّا ولكن خلايا أقل تكلفة، ويرجع ضعف المردود إلى الشوائب الحاصلة بين البلورات (أنظر المرجع [5]).
ويوجد العديد من طرق معالجة هذه العوائق من بينها استعمال السيلكون المسامي مع معالجة حراريّة (أنظر المراجع [9،8،6])



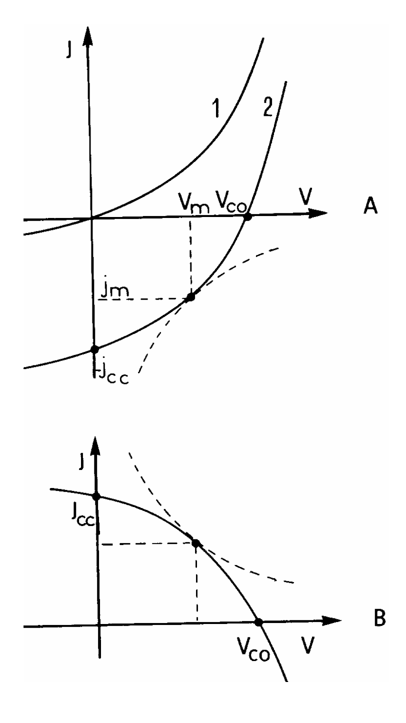
الشكل عدد9. مراحل صناعة الخلايا من السيلكون

ب) خلايا من المواد الأخرى

تختلف طرق صناعة الخلايا من المواد الأخرى كـــ GaAs و غـــيره باعتمـــاد التبخير أو الترسيب ....

- وسائط مميزة للخلايا الشمسية

يمثل الرسم 10 (A) المميز تيار-جهد للخلية الشمســية في الظـــلام، وهو المميز المعهود للوصلة. أما بالإضاءة فإن هذا المميز يزاح نحـــو التيـــارات السلبية بمقدار مساو لقيمة J_{cc}، وذلك ناتج عن أن التيار الكهرضوئي ناشـــئ عن الحاملات الأقلية العدد.

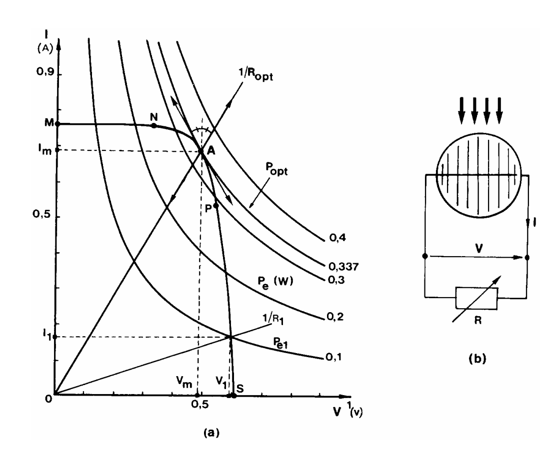


الرسم 10 . (A) المميز تيار-جهد للخلية الشمسية في الظلام و بالإشعاع (B).

ونخير استعمال مميزة الشكل (B) الذي وقع فيه تمثيل التيارات إيجابيا. ونتحصل بسهولة على جهد الدارة المفتوحة V_{co} بجعل J=0. و للحصول على عنصر الشكل FF و على المردود الطاقيη، ،يجب أن نحدد نقطة الاشـتغال V_m I_mالموافقة للقدرة القصوى المتدفقة $P_m=V_m I_m$.

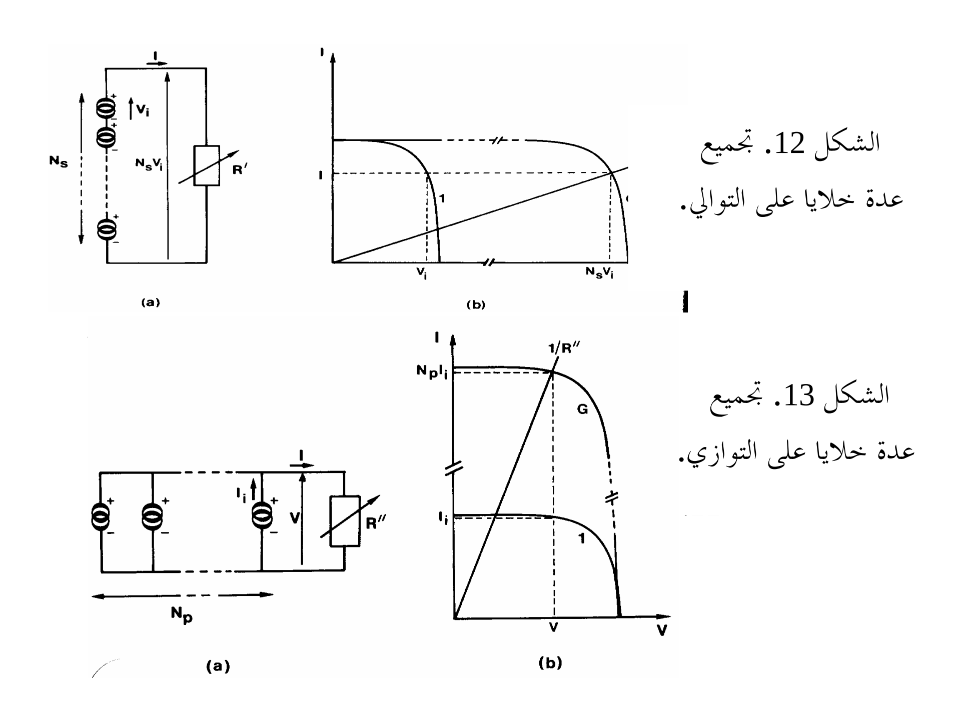
- منحني القدرة لخلية شمسية عند الاستعمال

لنعتبر الآن منحني القدرة I=f(V) أي المميزة لخلية تشـتغل كمولـد تحت إضاءة ثابتة وفي درجة حرارة قارة T. يمثل الشكل 11 هذا المـنحني: إن نقطة الاشتغال تحدد بتقاطع مستقيم ميله 1/R مع منحني القدرة لهذه الخليـة. فحسب قيمة المقاومة Rالتي تقفل عليها الخلية (الشكل 11b) يمكن أن تكون نقطة الاشتغال في إحدى المناطق الثلاث MN NP PS. ففـي المنطقـة MN الموافقة للقيم الضعيفة للمقاومة R تشتغل الخلية تحت إضاءة ثابتة كمولـد لتيار قار تقريبا، و تدنو قيمته من قيمة تيار الدارة المقصـورة للخليـة. وفي المنطقة PS الموافقة للقيم العالية للمقاومة R تشتغل الخلية كمولد لجهد قـار تقريبا تدنو قيمته من قيمة جهد الدارة المفتوحة للخلية. ومـن الواضـح أن القيمة القصوى للقدرة الكهربائية ستقدم الى الحمولة عندما تبلغ قيمتها المثلى R_{opt} الموافقة للمستقيم OA. وتوجد هذه النقطة في المنطقة NP حيث يكون المنحني للخلية المضاءة مماسا لأحد المنحنيات المتساوية القدرة P_e. وتظهر عند النقطة A قاعدة عامة معروفة تميز نقل القدرة المثلى بين المولـد و الحمولة : يستوي ميل المستقيم OA (الحمولة) و ميل المنحني I=f(V) للخلية (المولد).



4 – اللوحات والمنظومات الفولطاضوئيّة

نظرا إلى أن الجهد الذي تولّده الخلية ضعيف جدّا، وجب، في غالب الحالات، تجميع عدة خلايا على التوالي للحصول على جهد يتماشى مع الحمولات المستعملة (الشكل 12). ونلاحظ في هذا الشكل المتعلق بسلسلة واحدة أن التيار الذي تولّده هذه الخلايا يبقى هو نفسه في كامل الفرع وفي الحمولة أيضا. نستنتج قاعدة أولى : يجب أن لا تجمع على التوالي إلا الخلايا المتطابقة. ويمثل الشكل (13) تجميع خلايا أولية على التوازي. وفي هذه الحالة نلاحظ أن الجهد المولد هو نفسه لجميع الخلايا، فتكون القاعدة الثانية : يجب أن لا تجمع على التوازي إلا خلايا متطابقة.



الشكل 12. تجميع عدة خلايا على التوالي.

الشكل 13. تجميع عدة خلايا على التوازي.

و ينبغي أن نلاحظ أنه، في بعض الحالات، يتحتم تجميع الخلايا الشمسية بالتوازي و على التوالي.



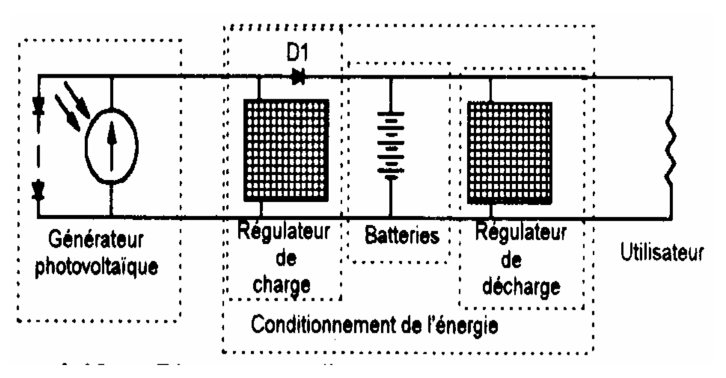
الشكل عدد 14 : صورة للوحة فولطاضوئية

يمثل الشكل 14 صورة للوحة فولطاضوئية بتجميع الخلايا على التوالي.

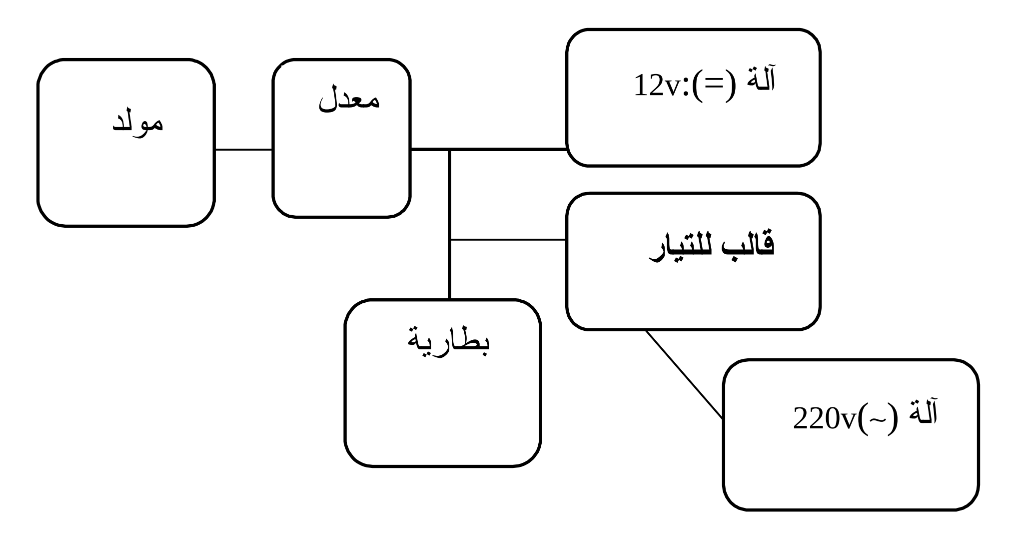
5- المنظومات الفولطاضوئية

تتكون المنظومات الفولطاضوئية غالبا من:

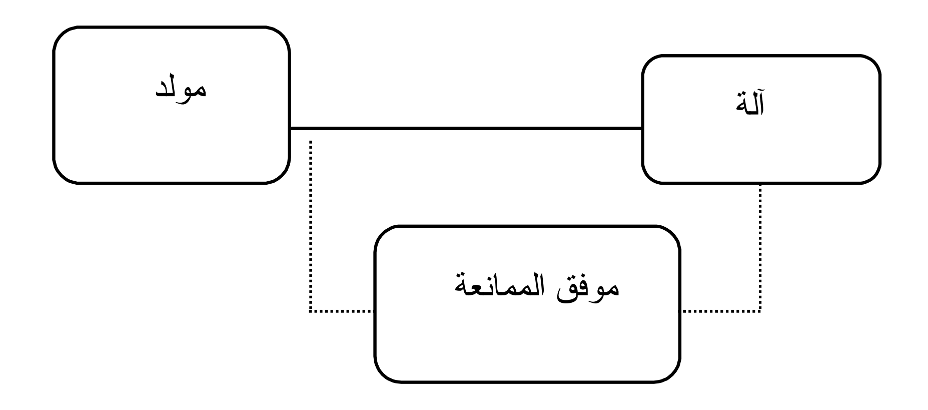
- لوحات فولطاضوئية ذات قدرة قصوى 50 Wc ،
- بطاريات للشحن خاصّة بالاستعمالات الفولطاضــوئية 12v، تضــمن استعمالا مطوّلا ولا تتطلب صيانة مكثفة.
- معدل للشحنة الكهربائية،



الشكل 15 . منظومة فولطاضوئية.



الشكل 16 أ. منظومة فولطاضوئية للاستعمال عن طريق بطارية.



الشكل 16 ب منظومة فولطاضوئية للاستعمال المباشر

تكون هذه المنظومات إمّا مركزية (لتوفير الطاقة الكهربائية وتوزيعها على مجموعات سكانيّة) أو فردية (للاستعمال الشخصي).
تمثل الأشكال 15 و 16 منظومات فولطاضوئية.

5- 1- المنظومات الفولطاضوئية الفرديّة

يوفر مستعمل هذه المنظومات جميع مكوناتها الضرورية (لوحات - بطاريات- معدِّلات كهربائية...) لاستعمالها مباشرة. و على هذا المستعمل أن يعرف الحدّ الأقصى للطّاقة التي يعطيها هذا الموّلد، و أن يقوم باستعمال مجد.

وإذا قارنّا المنظومات الفولطاضوئية المركزيّة مع المنظومات الفولطاضوئية الفرديّة نجد أنّ هذه الأخيرة تتميّز بمرونة وسهولة في تعديل قدرتها و ذلك بإكثار أو بتقليل عدد اللوحات الفولطاضوئية المستعملة.

5 - 2 - ضبط أبعاد (تحجيم) المنظومات الفولطاضوئيّة

بعد انتهاء المصمم من تحديد عناصر السلسلة الفولطاضوئية ابتداء من اللاقط وانتهاء بالحمولات التي سيقع تزويدها مرورا بالدّارات المحتملة الفاصلة بين المجموعات، يجب عليه أن يربط كل عنصر من هذه العناصر بقيم مرقمة: ذروة القدرة بالنسبة للوحدات، طاقة التخزين، القدرة بالنسبة للمغيّر، الخ ... و لضبط هذه الأبعاد يجب اعتبار الطلب الطاقي من ناحية وما تقدمه الطاقة الشمسية من ناحية أخرى دون أن ننسى التصرف في الطاقة في ما بين إنتاجها و استهلاكها. ويمكن أن يحدد الطلب الطّاقي بدقة في الحالات البسيطة ولكنه متغيّر في أغلب الاستعمالات تبعا لتغيرات يومية أو أسبوعية أو فصلية. وفي الطرف الآخر للسلسلة يكون الطلب الطاقي الذي تقدمه المنشآت بين نوعين من التقديرات. وزيادة على ذلك تتحتم معرفة استجابة السلسلة الوسيطة معرفة دقيقة.

5- 3- مثال على ضبط الأبعاد (التحجيم) للمنظومة الفولطاضوئية

لنفترض أن جهاز إعادة إرسال يشتغل بجهد 24V ويستهلك تيارا 5A في حالة الاشتغال العادي (5 ساعات على 24 ساعة) وتيارا 0.4 A في حالة الحراسة (19 ساعة على 24). إن استهلاك هذا الجهاز محدد تماما ويوافق 32.6 Ah في اليوم الواحد بجهد 24V أي قدرة قيمتها 32.6 W مسترسلة. وإذا اتجهت النية إلى استعمال وحدات من نوع RTC BPX 47A يجب وضع وحدتين على التوالي. وتبلغ شدة التيار الذي تقدّمه هذه السلسلة 0.7A في نقطة اشتغال الحاشدة. فإن كان الإشعاع في المكان المعني مثلا $10^7 j/m^2$ في اليوم فإن هذه القيمة توافق معدل $1 kW/m^2$ بالنسبة إلى فترة 2.8 ساعة. حينئذ تنتج هذه السلسلة 24 ساعة في اليوم. وبما أن الحمولة تتطلب يوميا 32.6Ah فيجب أن تكون لدينا 17 سلسلة على التوازي، أي جملة 34 وحدة وحوالي

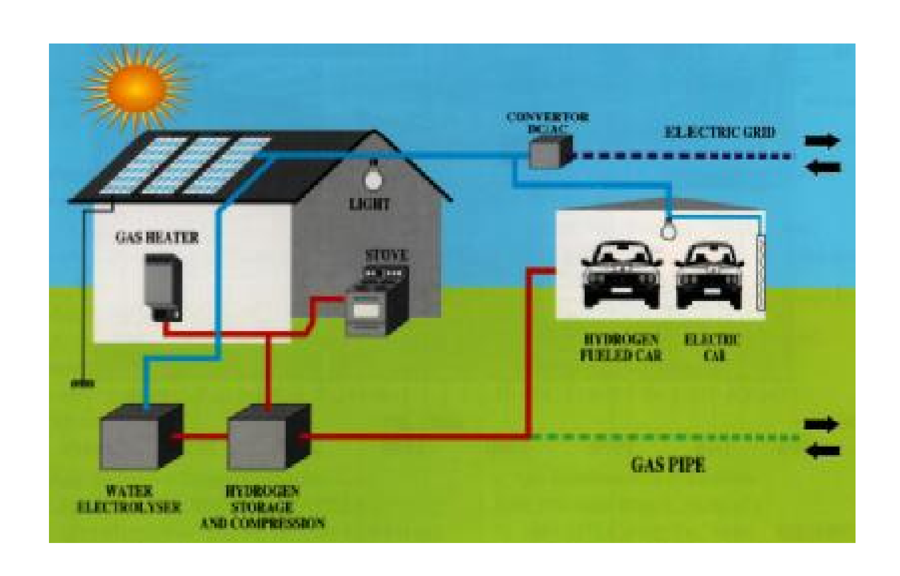
350 واط ذروة.

6 - بعض استعمالات المنظومات الفولطاضوئيّة

6- 1- المنظومات الفولطاضوئيّة المستعملة في الإنارة

يعدّ استعمال الطاقة الشمسية للإضاءة من أهم التطبيقات الحالية، إذ تستخدم هذه المولدات الفولطاضوئية في الأرياف لإنارة المساكن المتفرّقة. وتوجد الآن برامج كبيرة في كثير الدول العربية مثل المغرب.

يمكن تلخيص الطريقة المستعملة في الإنارة كالآتي : شحن البطاريات في النهار بالطاقة الكهربائيّة واستعمال الطاقة المشحونة بالليل (الشكل التالي). وقد أعطينا في الشكل (17) ثلاث صور: تمثل الأولى أهم المكوّنات لاستعمال الطاقة الشمسية الفولطاضوئية في الإنارة. أمّا الصورتان الثانية و الثالثة فهما مثالان حقيقيان لاستعمال الطاقة الشمسية الفولطاضوئية في الإنارة.

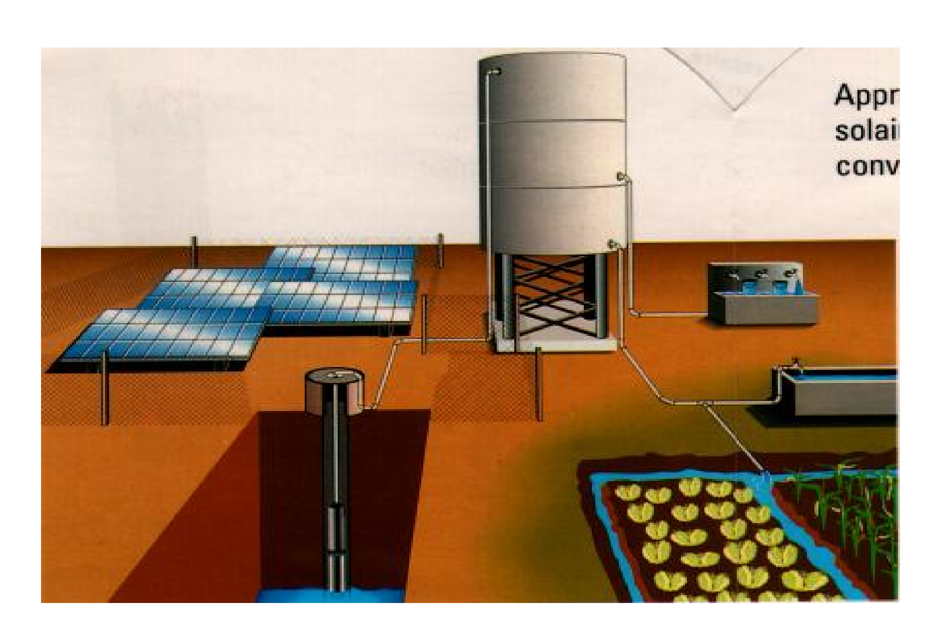





الشكل 17. استعمال الطاقة الشمسية في الإنارة

6- 2– المنظومات الفولطاضوئيّة المستعملة في ضخّ الماء

يمكن استعمال الطاقة الشمسية الفولطاضوئيّة في ضخ المياه الصّـــالحة للشّراب أو للفلاحة. ويتمّ ذلك بضخ الماء من مصدره في النهار (الشكل عدد 18).



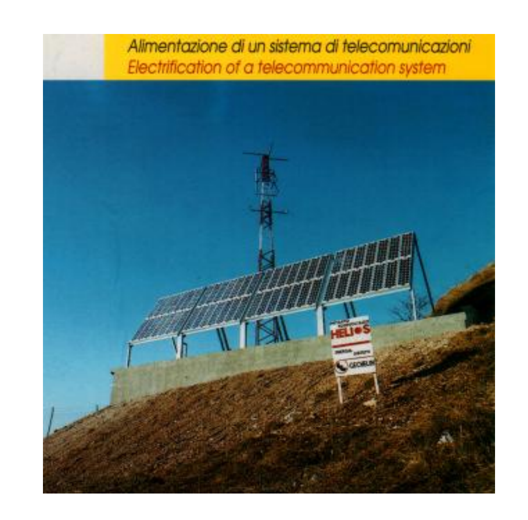
الشكل 18. استعمالات الطاقة الشمسية في ضخ المياه.

6-3- المنظومات الفولطاضوئيّة المستعملة في الاتصالات

تستعمل هذه المنظومات لتغذية الدارات الإلكترونيّة لمراكز الهاتف في الأماكن النائية، من ذلك نذكر:

- هاتف النجدة (الطوارئ) الموجود على الطريق السيّارة أو في الغابات.
- هاتف النجدة في البواخر و محطّات التنقيب عن النفط.
- الهاتف المستعمل في المناطق النّائية.





الشكل 19. استعمالات الطاقة الشمسية في المواصلات.

7 - المردود الاقتصادي

تتكون كلفة الوحدة الفولطاضوئية من ثلاثة عناصر:

- كلفة المكونات K_1 ،
- كلفة طريقة الإنجاز، و التركيب، و التجميع K_2 ،
- كلفة التغليف K_3 .

نعتبر في K_3 وضع الخلايا في وحدات و المصاريف القارة، وهي غير قابلة للانضغاط، وتخص الحاملات وتجميع الأسلاك و تهيئة الطاقة للاستعمال. وتتقارب أهمية هذه العناصر الثلاثة بالنسبة ل Si. وتضاف إلى هذه التكاليف نفقات تخزين الطاقة المولّدة التي تتناسب مع القدرة، وبالتالي مع المردود، وهي ηS_t. فتكون جملة التكاليف كالآتي:

$$K_1+ K_2+ K_3+\eta S_t = \eta S_t +K$$

وتتناسب طردا مع مردود القدرة المتوسطة التي توفرها

المجموعة في مدة معينـــة: P=Aη. وتكـــون كلفـــة الطاقـــة إذن:

$$C = \frac{K_1 + K_2 + K_2 + hS_t}{Ah}$$

نستخرج من هذه الصيغة هذه النتيجة: $h = \frac{K}{AC - S_t}$

فبالنسبة إلى سعر C معين للطاقة، تعطي هذه العبارة المـــردود الأدنى الذي يتحتم أن يكون للمجموعة.

8 -تقييم المعلومات

1- أذكر الفرق بين مبدأ لاقط حراري و لاقط فولطاضوئي.
2- ما المواد المستعملة في التحويل الفولطاضوئي؟
3- أعط بطريقة مبسطة مبدأ اشتغال الخلية الشمسية الفولطاضوئية.
4- عرّف بالمردود الطاقي للخلية الشمسية الفولطاضوئية.
5- ما الدّالة الرئيسية المستعملة لتشخيص الخلية الشمسية الفولطاضوئية؟
6- ما المكونات الرئيسية للمنظومة الفولطاضوئية؟
7- ما أهم المنظومات الفولطاضوئية المستعملة؟
8- اذكر التطبيقات المختلفة للطاقة الشمسية.
9- أعط بعض التطبيقات للمنظومة الفولطاضوئية.
10- كيف يمكن استعمال لاقط فولطاضوئي في الإنارة؟

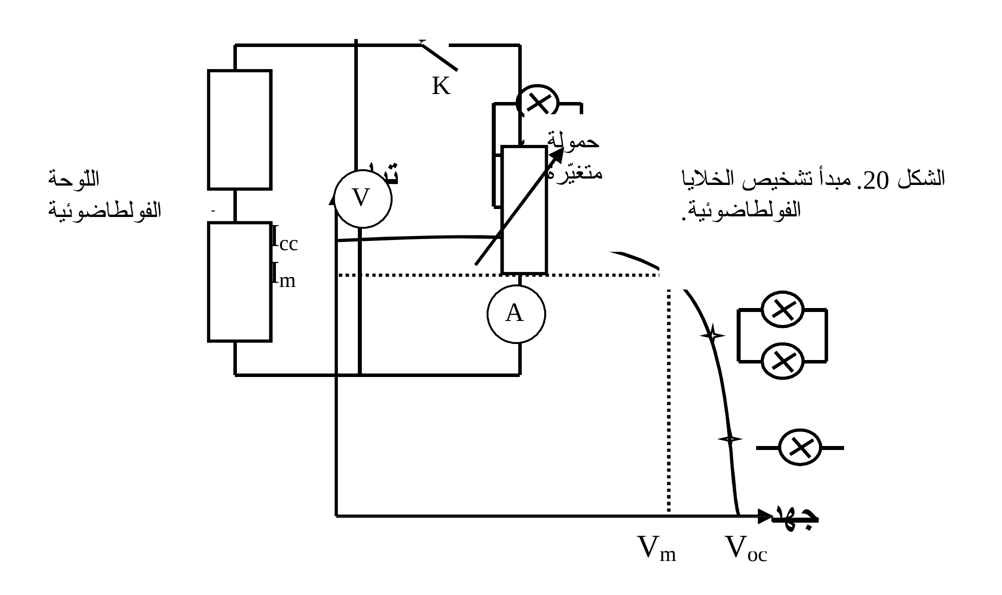
ملاحظة : كل الإجابات عن الأسئلة العشرة الواردة في هذه الفقـــرة توجـــد داخل النص.

أشغـــــــال تطبــــــيــقــيّة

اللوحة الفولطاضوئية: من التشخيص إلى الاستعمال

تشخيص اللوحة الفولطاضوئية

تتميز الخلية الفولطاضوئية المصنّعة من السلكون بضـــعف جهـــدها (أصغر من V 0,6) وهشاشتها (سمك 0,4 مم)، لهذا يقع تجميع العديد مـــن الخلايا على شكل لوحات توفر جهدا قابلا للاستعمال (مثلا V1 2) وتضمن صلابة مع ديمومة أطول تجاه العوامل الطبيعية (أمطار ، رياح، حرارة). قبـــل استعمال هذه اللوحات الفولطاضوئية يجب تشخيصها حتى يتســـنى معرفـــة خاصّياتها (الشكل 20). و تعدّ عملية تشخيص اللوحة الفولطاضوئية ضرورية إثر تصنيعها، إذ بواسطتها يمكن لنا تحديد مدى نجاعة ومردودية هذه اللوحة . فأي خلل أثناء التصنيع يمكن تحديده عند هذه العملية. وتتمثل هذه الأخيرة في وصل اللوحة الفولطاضوئية بقابل متغيّر (حمولة متغيّرة) يمكـــن مـــن خلالـــه الحصول على رسم بياني لمميّز "تيار- جهد" اللوحة. وخلال هـــذا الرســـم (الشكل 21) نمر من وضعية لوحة على شكل دارة مفتوحة حيث الجهد V_{oc}، إلى وضعية تكون فيها اللوحة على شكل دارة قصيرة حيث يكون التيـــار I_{cc}. وبين هاتين الوضعيتين، تكون الحمولة متغيرة (مثلا: مصباح ، مصـــباحان ، ثلاثة مصابيح ، ...) حيث يقع قيس التيار والجهد لكل حمولة. وفي بدايـــة كل رسم يتمّ تسجيل درجة حرارة اللوحة و إشعاعيّة التدفّق الضوئي المسلّط على سطح هذه الأخيرة. وفي نهاية عملية التشخيص يمكننا الحصول على المميز "تيار- جهد" (الشكل 21).



الشكل 21 . رسم بياني لمميّز "تيار- جهد" اللوحة

من خلال هذا الرسم يتبين لنا الاختلاف الواضح بين مصدر طاقة فولطاضوئي ومصدر طاقة عادي آخر حيث يكون الجهد لدى الأول متغيرا بينما لدى الثاني ثابتا. كما تتبين لنا من هذا الرسم الوضعية الوحيدة التي يمكن من خلالها الحصول على أقصى قدرة من اللوحة P_m. وتعد هذه القدرة خاصية مميزة للوحة الفولطاضوئية، إذ بواسطتها يمكن احتساب عدد اللوحات اللازمة لتشغيل القابل الذي سيقع استعماله.

ونظرا إلى تغيّر درجات الحرارة و الأشعة الشمسية فقد حصل اتّفاق عالمي على أنّ القدرة القصوى التي يقع الحصول عليها تحت أشعة 1000 w/m2 ودرجة حرارة 25° قدرة قصوى تميز كلّ لوحة.وتسمى هذه القدرة قدرة ذروة P_p (pic power).

لمزيد التعرف على خاصيّة اللوحة يقع عادة إنجاز الرسم البياني لمميز تيار - جهد تحت عدة عوامل طبيعية متغيرة (أشعة – حرارة)، إذ نلاحظ أن المميزات تيار – جهد مرتبطة جدا بدرجة الحرارة و الإشعاعية، فبتغيرهما

تتحول نقطة الاشتغال ممّا يؤدي إلى محصول طاقي مغاير.

العمل التطبيقي رقم 1 (الشكل 22): تشخيص اللّوحة الفولطاضوئية

1) اللوحة الفولطاضوئية مكوّنة من لاقطين، ضعهما في اتجاه الشّمس أو مصدر أشعة آخر.

2) اربط اللوحة الفولطاضوئية إلى جهاز التشخيص باستعمال الأسلاك الكهربائية المعدة للغرض.

3) ابط المجسّات بجهاز التشخيص باستعمال الأسلاك الكهربائية المعدة للغرض.

4) ضع المفتاح 1 في الوضع ON لتشغيل معدّات القيس.

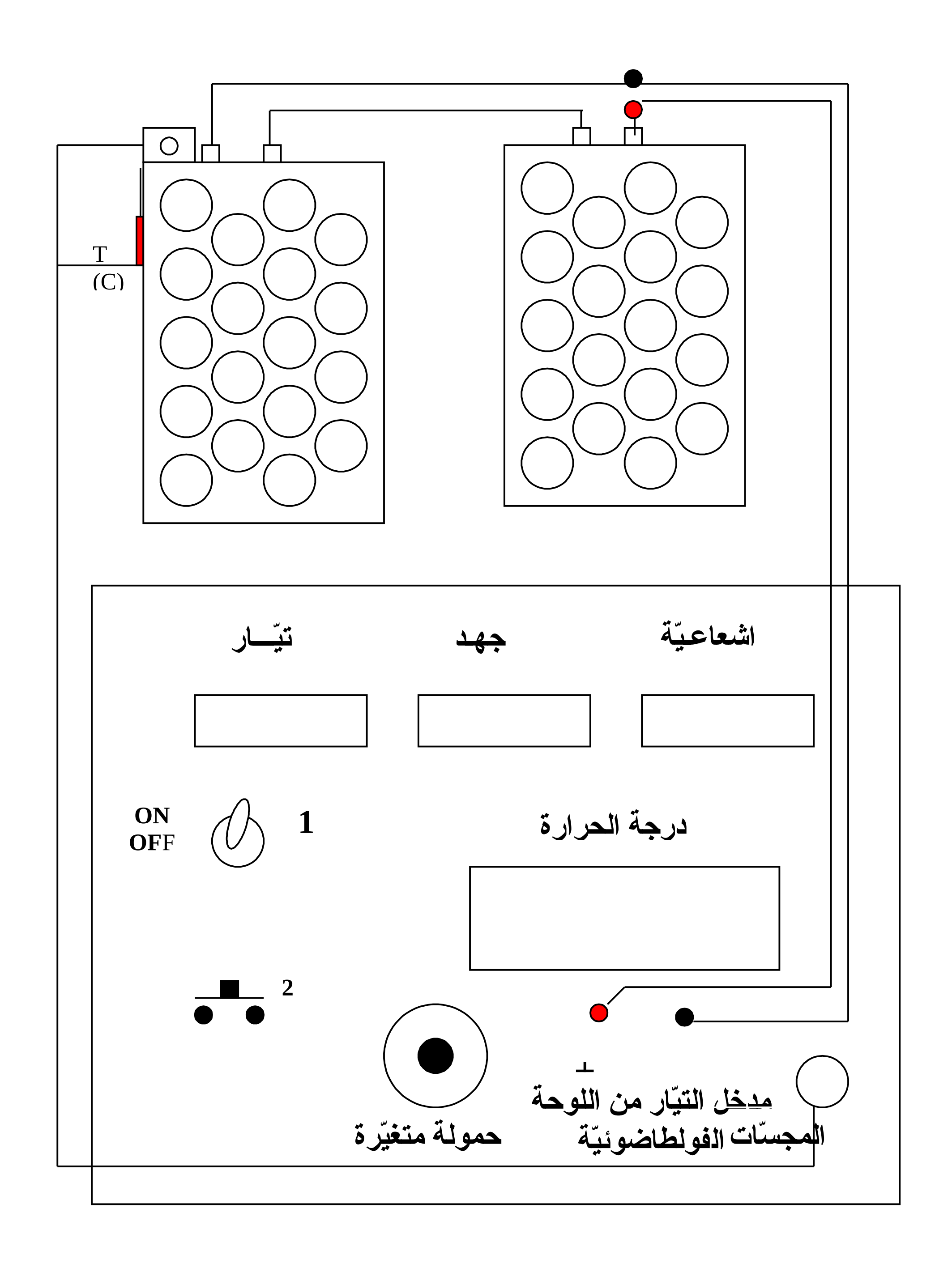
5) سجّل درجة الحرارة.

6) سجّل النتيجة المبيّنة على آلة قيس الإشعاعية في جهاز التشخيص Eوهي بوحدة w/cm^2 .

7) سجّل الجهد (V_{oc}) والدّارة مفتوحة (أي التيّار =0).

8) اضغط على الزرّ (2) ثمّ غيّر الحمولة بسرعة بإدارة الزرّ المرقّم من 0 إلى 0.5، 1، 1.5، 2، .....، 10. و سجّل لكل وضعية التيار و الجهد.

إن سرعة الإنجاز هامّة لأنّها تجنّب تأثير تغيّرات العوامل الطبيعية (درجة الحرارة و الإشعاعية).



الشكل 22. العمل التطبيقي رقم 1.

بعد ملء السطرين الأوّلين من الجدول، احسب القدرة (P = التيار x الجهد) لكلّ حمولة، ثمّ املأ السطر الثالث من الجدول التالي :

الحمولة	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
التيار (A)											
الجهد (V)											
القـــدرة (W)											

الحمولة	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
التيار (A)										
الجهد (V)										
القـــدرة (W)										

إثر تسجيل كل هذه القياسات

1) ارسم المميّزين تيار-جهد ثمّ قدرة-جهد على ورقتين مختلفتين.
2) استنتج من رسم المميز قدرة-جهد القـــدرة القصـــوى P_m الممكـــن الحصول عليها في الظرف الطبيعي الذي أخذت فيه القياسات (درجـــة حرارة و إشعاعية).
3) احسب المرد ودية $h = \frac{Pm.}{10.E.n.S}$ حيث E الإشعاعية و S مساحة الخليّة وn عدد الخلايا ($S=78.5\ cm^2$، n=36).
4) أعد كلّ المراحل المذكورة سابقا في أوقات مختلفة من النهار أي تحت ظروف طبيعية مختلفة (درجة حرارة وإشعاعية مغايرة).

5) لجميع هذه الظروف الطبيعية المختلفة ارسم المميّزين **تيار-جهـــد** ثمّ **قدرة-جهد** على ورقتين مختلفتين.

6) استنتج من رسم المميز قدرة-جهد جميع القدرات القصوى الممكـــن الحصول عليها في أوقات مختلفة من النهار.

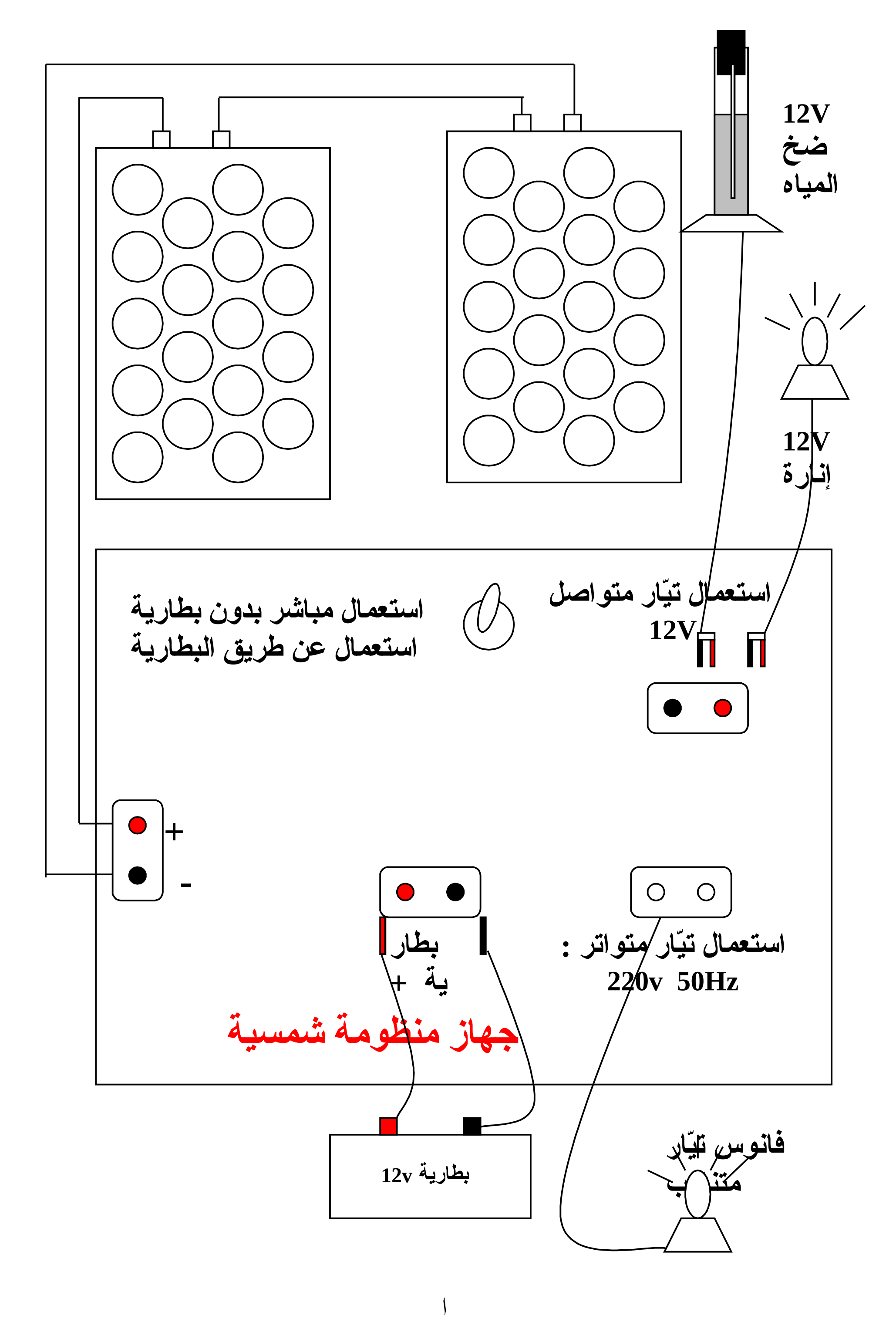
7) ارسم المميز **قدرة قصوى – وقت.**

من خلال الرسم الأخير يبرز جليّا لمستعملي المولّد الفولطاضوئي مدى تغيّر وعدم استقرار الطاقة الكهربائية الممكن الحصول عليها من هذا المولّد خلال ساعات النهار. لذلك يتمّ اللجوء عادة للبطارية لتخزين الطاقة الكهربائية ولضمان استقرار تزويد القابلات بالقدرة الكافية.

العمل التطبيقي رقم 2 (الشكل 23): استعمالات الطاقة الفولطاضوئية

يوفر جهاز المنظومة الفولطاضوئية (الشكل 23) المصاحب لهـــذه الحقيبـــة الاستعمالين الموجودين في أغلب استعمالات الطاقة الفولطاضوئية: اســـتعمال مباشر من دون بطارية، استعمال غير مباشر عن طريق البطارية.

كما يمكن تحويل التيار المتواصل إلى تيار متواتر عن طريـــق القالـــب للتيـــار الموجود داخل الجهاز لتوفير استعمال أشمل (قابلات التيـــار المتـــواتر 220v 50hz).



ا

الشكل **23.** العمل التطبيقي رقم **2.**

أ- استعمال مباشر بدون بطارية :

- وجّه المفتاح الكهربائي في اتجاه استعمال مباشر بدون بطارية.

- ضع قابل تيار متواصل في نقطتي ($+V_0$, $-V_0$)، ويمكن أن يكون هذا القابل فانوس إضاءة 12V أو مضخة ماء 12V. بالنسبة إلى المضخّة يملأ الإناء المخصص للغرض بالماء إلى حدود: 200 مل، ولاحظ دوران الماء .

من خلال هذا الاستعمال نلاحظ عدم الاستقرار في الإضاءة أو في ضخ الماء نظرا إلى تغيير حالة الإضاءة الموجهة نحو اللوحة الفولطاضوئية، لهذا يتمّ عادة اللجوء إلى البطارية.

ب – استعمال غير مباشر عن طريق البطارية :

يتمّ تحويل المفتاح الكهربائي في اتجاه "استعمال عن طريق البطارية". في هذه الوضعية تكون شحنة البطارية تحت مراقبة المعدل (Regulator) لحمايتها من الإتلاف. وبإمكان المستعمل مراقبة هذه الشحنة عن طريق الدويدات المشعّة LED diode.

- ضع قابل تيار متواصل في نقطتي ($+V_0$, $-V_0$) ، ويمكن أن يكون هذا القابل فانوس إضاءة 12V أو مضخة ماء 12V ثمّ قارن نتيجة هذا الاستعمال مع الاستعمال السابق (مباشر بدون بطاريّة).

كما يمكّن قالب التيار الموجود داخل الجهاز من استعمال التيار المتناوب لتمكين القابلات من هذا النوع من الاشتغال مثلا فانوس أو تلفاز (220v، 50Hz). لهذا نقترح التجربة التّالية

- ضع قابل تيار متناوب في نقطتي استعمال تيار متناوب. يمكن أن يكون هذا القابل فانوس إضاءة (220v، 50Hz) أو غيره من القابلات من هذا النوع. اضغط على الزّر الموجود بجانب نقطتي استعمال تيار متناوب.

المراجع

[1] - **أ. لوجي. ج. أ. روجي:** الخلايا الشمسية من المكونات إلى الجهاز و من الجهاز إلى التطبيقات. **ترجمة : الدكتور نورالدين الأخوة، الدكتور عبد الوهاب شيخ روحو، الدكتور أحمد الحصايري. مراجعة الأستاذ الـــدكتور محمد المعالج.** إصدار المنظمة العربية للتربية و الثقافة و العلوم. تونس 1994.

[2] - **م.ف. بوجميل:** رسالة التعمّق في البحث

Mise au point d'un montage optique de mesure de la reflectivite. Application à l'étude des traitements de surface et des couches anti-reflet (SiO_2, TiO_2/Silicium).

كليّة العلوم بتونس، فبراير/شبّاط 1992.

[3] - **م.سعدون:** رسالة التعمّق في البحث

Amélioration des performances photovoltaïques des cellules solaires à faible coût de fabrication à l'aide de traitements de surface réalisés par pulvérisation chimique réactive

كليّة العلوم بتونس، نوفمبر/تشرين الثاني 1997 .

[4] - **إ. بسيّس:** رسالة دكتوراه المرحلة الثالثة

Elaboration par sérigraphie et caractérisation électrique et optique des couches minces d'ITO ($In_2O_3(Sn)$).

كليّة العلوم بتونس، يناير/كانون الثاني 1992 .

[5] - **م. بو عائشة:** رسالة الدكتوراه

Contribution à l'étude des joints de grains et des textures de surfaces des cellules photovoltaïques à base de silicium polycristallin.

كليّة العلوم بتونس، فبراير/شباط 1999.

[6] - م.ف. بوجميل: رسالة الدكتوراه

Amélioration du rendement des cellules photovoltaïques à base de silicium cristallin par optimisation des paramètres de fabrication.

كليّة العلوم بتونس، يونيو/حزيران 1999.

[7] - إ. بسيّس: رسالة دكتوراه دولة

Phénomènes photo-induits et correlation entre photoluminescence absorption optique et structure dans le silicium cristallin.

كليّة العلوم بتونس، مايو/أيّار 1999 .

[8] - ح. الزّاوية: رسالة التأهيل في البحث العلمي

Fabrication de nouveaux matériaux semi-conducteurs en vue de leur utilisation dans les dispositifs électroniques et la conversion photovoltaïque. Analyse, caractérisation et modélisation.

كليّة العلوم بتونس، مايو/أيّار 1999.

[9] - ن. خذر: رسالة التعمق في البحث

Etude de la passivation et du gettering du silicium par des couches minces de silicium cristallin.

كليّة العلوم بتونس، ديسمبر/كانون الأوّل 1998 .

W. Palz. L'électricité solaire. UNESCO Paris 1981. **- [10]**

[11] - أ. ص. بوعزّي: (L'électricite solaire) اصدار مركز المنشورات الجامعيّة تونس، 1997.

J.P. Braunm - B. Farraggim –A. Labouret **- [12]**

Les cellules solaires : Dunod – Paris (1999).

الفريق المنجز للحقيبة التدريبيّة
حول استخدام الطّاقة الشمسيّة الفولطاضوئيّة

الإشراف العام

الأستاذ الدكتور محمد المعالج

التقييم العلمي

الأستاذ الدكتور رؤوف بن ناصر

التنسيق

الدكتور إبراهيم بسيّس

الدكتور حاتم الزاوية

فريق تحرير الكتيّب وإعداد أشرطة الفيديو

الاسم و اللقب	الخطّة	المؤسسة
د. منجي بوعائشة	أستاذ مساعد	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
د. محمد فتحي بوجميل	مساعد	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
رضا الأندلسي	مساعد	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني

فريق صناعة الخلايا واللوحات الفولطاضوئيّة

الاسم و اللقب	**الخطّة**	**المؤسسة**
المنصف سعدون	باحث متعاقد	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
جلال اليعقوبي	**مهندس مساعد**	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
سفيان الهمّامي	مساعد متعاقد	المعهد العالي للدّراسات التقنيّة بقفصة
زهير الرياحي	تقني كهرباء	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
نجوى خذر	طالبة باحثة	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
مسعود الحاجّي	طالب باحث	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
وسام الديماسي	طالب باحث	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
قيس داود	طالب باحث	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
محمد بن رابحة	طالب باحث	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
محرز خليل	عامل	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني

فريق صناعة الآلات الكهربائيّة المكونة للحقيبة

الاسم و اللقب	**الخطّة**	**المؤسسة**
د. أنيس السلاّمي	أستاذ مساعد	المدرسة العليا للعلوم والتقنيّة
رضا الأندلسي	مساعد	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
إبراهيم الخياري	مهندس متعاقد	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
مهدي الخرّوبي	مهندس مساعد	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
محمد بن منصور	مهندس مساعد	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
سالم الزغواني	تقني كهرباء	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
منصف بريّك	عامل مختص	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني
محرز خليل	عامل	المعهد الوطني للبحث العلمي والتقني